

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Aplicação de Parâmetros Diagenéticos para a Caracterização do Arcabouço Estratigráfico do Devoniano da Bacia do Paraná, Brasil.

AUTORES:

Leonardo Costa de Oliveira

Egberto Pereira

INSTITUIÇÃO:

UERJ

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 5º PDPETRO, realizado pela a Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 15 a 22 de outubro de 2009, em Fortaleza-CE. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 5ºPDPETRO.

**APLICAÇÃO DE PARÂMETROS DIAGENÉTICOS PARA A
CARACTERIZAÇÃO DO ARCABOUÇO ESTRATIGRÁFICO DO
DEVONIANO DA BACIA DO PARANÁ, BRASIL**

Abstract

This work aimed to discuss the relationship between the stratigraphic framework and the diagenetic evolution observed in the Devonian Section of the Paraná Basin based on the concept of sequence stratigraphy. The present study made use of data from samples obtained from three boreholes located on the southeast and on the north regions of the Basin. Two boreholes located on the southeast region, in Tibagi and Ponta Grossa counties in Paraná State are positioned in the Pragian/Ensian interval (Gaugris and Grahn, 2006). One borehole located on the north region in Dom Aquino County in Mato Grosso State is positioned in the Givetian/Frasnian interval (Mendlowicz Mauller, 2008). The diagenetic evolution of the studied sandstones was inferred through petrographic analyses. Based on these characteristics, diagenetic units were proposed and their distribution was apparently controlled by the stratigraphic framework. Eodiagenetic constituents whose origin is closely connected to the environmental changes caused by the relative variation of the sea level were used in this study. It was possible to correlate eodiagenetic minerals that are usually formed in transgressive conditions. The study of the mineral assembly and the diagenetic evolution indicated that the shallow-marine environments, registered in the Devonian Section of the Paraná Basin, favored conditions for the organic matter decomposition and concomitantly the occurrence of oxireduction reactions of metal oxides, mainly iron oxides. These shallow-marine environments, so frequent in a Transgressive System Tract, would have produced a characteristic mineral assembly constituted of siderite, pyrite, glauconite and berthierine observed in the studied sandstones.

1 – Introdução

O estudo integrado entre a estratigrafia de seqüências e as alterações diagenéticas de rochas siliciclásticas representa uma poderosa ferramenta de correlação estratigráfica. Trabalhos recentes (Hlal *et al.*, 2007; Morad *et al.*, 2000; Worden & Morad, 2003) demonstram, de maneira muito satisfatória, que as modificações eodiagenéticas, principalmente de ambientes costeiros e marinhos, são correlacionáveis com as mudanças relativas do nível do mar e, conseqüentemente, com os tratos de sistemas e suas superfícies limitantes.

As mudanças relativas do nível do mar e o aporte sedimentar são os principais fatores que controlam os eventos regressivos e transgressivos de uma bacia sedimentar. Estes eventos controlam a composição detrítica e o tempo de residência dos sedimentos, bem como a posição e a dinâmica da química da água de poro, sendo esta última de fundamental importância no grau de mistura entre a água marinha e continental (Morad *et al.*, 2000; Ketzer *et al.*, 2003). Desta maneira, tais eventos, somados à ação climática e a composição detrítica de uma determinada fácies deposicional, terão forte influência nas reações eodiagenéticas das rochas siliciclásticas (Morad *et al.*, 2000; Ketzer *et al.*, 2003; Worden & Morad, 2003).

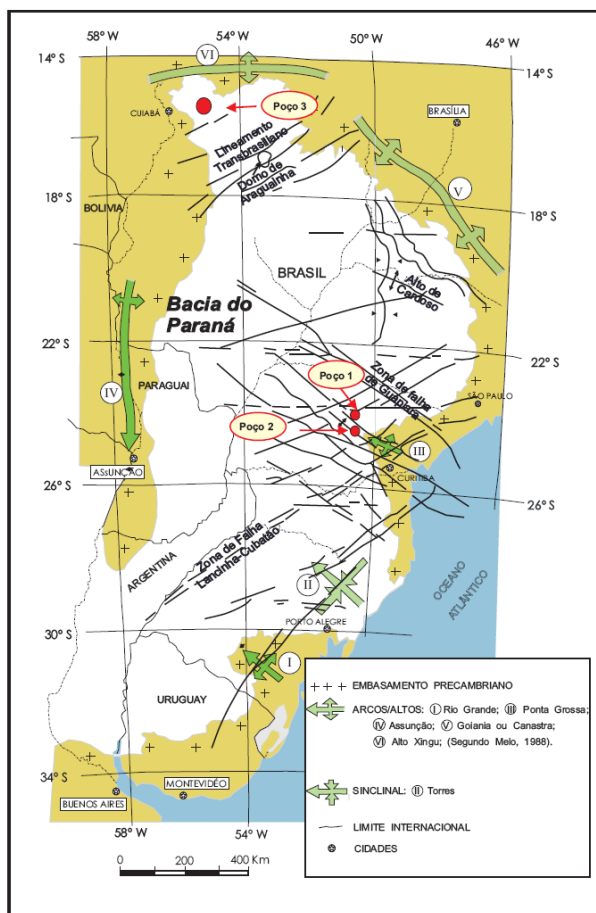
Os arenitos estudados neste trabalho são da seção devoniana da Bacia do Paraná, registrados nas regiões de Tibagi e Ponta Grossa, no estado do Paraná, e na região de Dom Aquino, no estado do Mato Grosso (figura 1). Estes arenitos foram amostrados a partir de um conjunto de furos de sondagem (poços 1 e 2, posicionados entre os paralelos 24°00' e 25°30' de latitude sul e os meridianos 50°45' e 49°30' de longitude oeste; e poço 3, posicionado entre os paralelos 14°00' e 18°00' latitude sul e os meridianos 54°00' e 55°00' de longitude oeste).

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo e dos furos estudados.

2 – Metodologia

Os testemunhos de sondagem foram re-descritos em termos sedimentológicos, fotografados e amostrados, com o intuito de promover uma detalhada caracterização faciológica, identificar os processos envolvidos na sedimentação e definir o padrão do empilhamento estratigráfico.

Após essa etapa as amostras foram impregnadas, com resina epóxi azul, para identificação dos poros. Foram confeccionadas seções delgadas com o intuito de caracterizar o processo diagenético dos arenitos em questão. Esta caracterização forneceu dados para interpretar a história diagenética ocorrida e definir a influência da mesma na qualidade dos arenitos como reservatório de hidrocarbonetos.



Para a identificação dos carbonatos foi utilizada a técnica de tingimento. Para este procedimento foi utilizado solução de alizarina (10%) e de ferricianeto em HCl diluído (0.15%).

As amostras foram analisadas de maneira quantitativa através da contagem de 300 pontos em cada lâmina, com espaçamento de 0.3 mm, onde se buscou reconhecer as modificações diagenéticas e a relação cronológica entre elas.

Após a descrição das lâminas petrográficas, utilizou-se o software Grapher 2.0 para a analisar a distribuição dos constituintes diagenéticos ao longo das seções estudadas. Dessa maneira, foi possível observar a evolução diagenética ao longo das seqüências deposicionais propostas.

3 – Resultados e Discussão

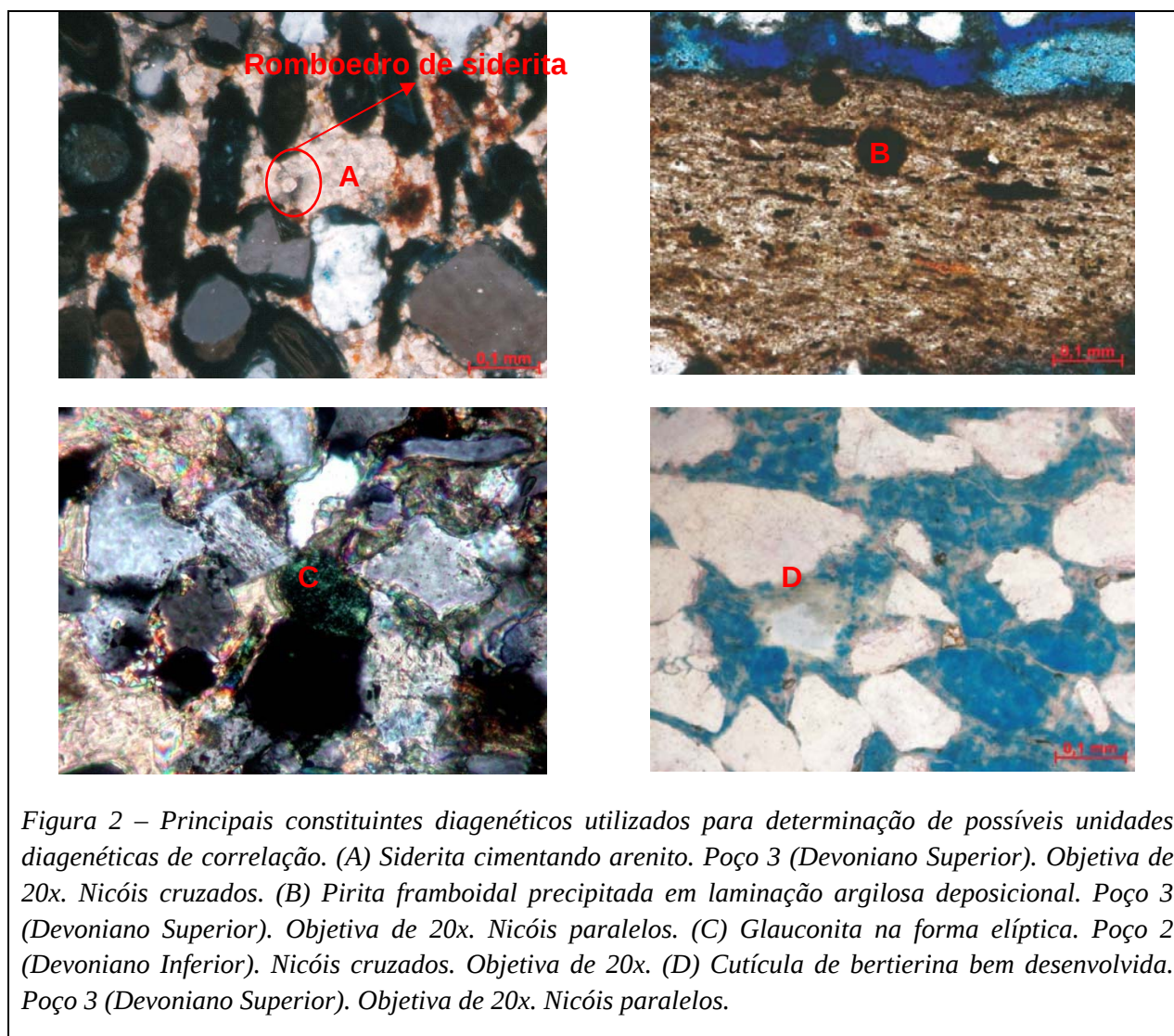
Neste trabalho foram descritos furos tanto na região sudeste referente ao intervalo Pragiano/Ensiano (Gaugris and Grahn, 2006) (poços 1 e 2), quanto na região norte da Bacia do Paraná referente ao intervalo Givetiano/Frasniano (Mendlowicz Mauller, 2008) (poço 3).

As diferentes condições ambientais nas quais os sedimentos destas duas áreas foram submetidas (Tibagi, no Paraná e Dom Aquino, no Mato Grosso) geraram distintas fácies sedimentares. As modificações diagenéticas que afetaram os arenitos Devonianos, da região de Tibagi, foram em ordem progressiva: precipitação de siderita em forma de nódulos, precipitação de pirita, crescimento secundário de quartzo, ilitização de micas e caolinitas, cimentação por calcita, precipitação de óxido de titânio, geração de porosidade secundária e precipitação de caolinita. Na região de Dom Aquino a ordem diagenética observada foi: precipitação de bertierina na forma de cutículas e na forma de oóides, precipitação de siderita na forma de nódulos e cimento, precipitação de pirita e dolomita, raro crescimento secundário de quartzo, evolução da bertierina para chamosita; cimentação por calcita e

anquerita, precipitação de óxido de titânio, geração de porosidade secundária e precipitação de caolinita.

De acordo com publicações recentes acerca do posicionamento estratigráfico de determinados minerais eodiagenéticos (Amorossi, 1997; Morad *et al.*, 2000; Ketzer *et al.*, 2003; Worden & Morad, 2003), buscou-se desenvolver uma comparação entre o arcabouço estratigráfico de 3ª e 4ª ordem proposto para as seções estudadas com os diferentes minerais diagenéticos observados. Sabe-se que, durante o processo diagenético, as variações do nível do mar podem influenciar nas modificações de certos minerais, o que gera uma ligação entre os aspectos diagenéticos e as superfícies-chave das seqüências deposicionais. É importante destacar aqui que em bacias intracontinentais, como é o caso da Bacia do Paraná, em razão de sua fisiografia em rampa, há freqüentemente menor espaço de acomodação, o que justifica a amalgamação da superfície transgressiva (ST) e do limite de seqüência (LS).

Nesse estudo, a principal correlação entre os eventos diagenéticos observados e as superfícies-chave identificadas está relacionada ao aumento da quantidade percentual de minerais eodiagenéticos em direção às superfícies de inundação máxima (SIM). Neste contexto, o progressivo afogamento ocorrido ao longo do Devoniano da Bacia do Paraná, em condições de uma bacia em rampa, teria gerado uma assembléia mineral característica, formada especialmente por: siderita, pirita, glauconita e bertierina (figura 2).



3.1 – Divisão do arcabouço estratigráfico com base nos dados diagenéticos

Na análise dos constituintes diagenéticos dos furos de sondagens estudados, foi possível perceber alguns padrões de correlação. A partir deste estudo foram propostas unidades diagenéticas, as quais podem guardar uma relação com o arcabouço estratigráfico. Para esta correlação foram utilizados os constituintes eodiagenéticos, que demonstraram maior poder de correlação, cuja gênese está intimamente relacionada às mudanças ambientais causadas pela variação relativa do nível do mar.

Na base do poço 1 (figura 3), de acordo com a distribuição destes minerais, é possível notar um pico de glauconita e de cimento carbonático na profundidade de 112 m. A partir deste ponto inicia-se um decréscimo destes constituintes e o aumento, principalmente, de pirita framboidal e siderita. O aumento de cimento carbonático e pirita framboidal, e ausência de glauconita marcam o início de um novo intervalo. Esse último intervalo é sucedido por um pico de glauconita e cimento carbonático e pelo decréscimo de pirita e siderita.

A base do poço 2 é notadamente marcada por picos de glauconita, cimento carbonático, pirita framboidal e siderita (figura 4). Há um rápido decréscimo no volume destes minerais em torno de 80m. O intervalo seguinte é marcado pelo considerável aumento percentual de esmectita na profundidade 60 m. Há também presença de cimento carbonático e pirita framboidal. A glauconita está ausente. O último conjunto identificado neste poço foi individualizado pela queda percentual de esmectita e aumento de siderita.

No poço 3, a primeira unidade diagenética é determinada na base deste furo de sondagem na profundidade 193m. A mesma é caracterizada, principalmente, por uma grande concentração de bertierina/chamosita e siderita (figura 5). Ocorre também um pico de pirita framboidal. Neste mesmo ponto é notável o decréscimo no volume de quartzo. Ocorre ainda um considerável volume de macroporosidade, a qual atinge até 12%. De acordo com a descrição dos testemunhos, esse intervalo pode estar relacionado a uma discordância. No intervalo compreendido entre 40 e 60m ocorre outro importante evento diagenético. Esta unidade diagenética é representada na figura 5, por um significativo aumento percentual nos valores de bertierina/chamosita e siderita, bem como pelo decréscimo no volume de quartzo, que cai para 0% na profundidade de 60 m. É importante comentar que nessa profundidade foi descrito um depósito de *ironstone* composto quase que inteiramente por oóides de bertierina cimentados por siderita. Após este intervalo com uma história diagenética específica, em torno de 40m observa-se que a bertierina vai a 0%, havendo, no entanto, aumento percentual de esmectita

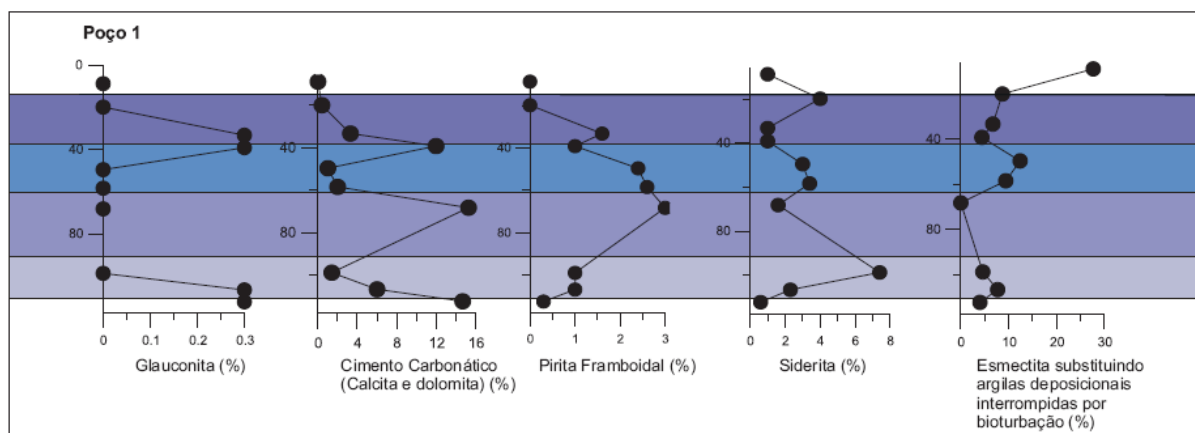


Figura 3 – Divisão do arcabouço estratigráfico com base nos dados diagenéticos do poço 1

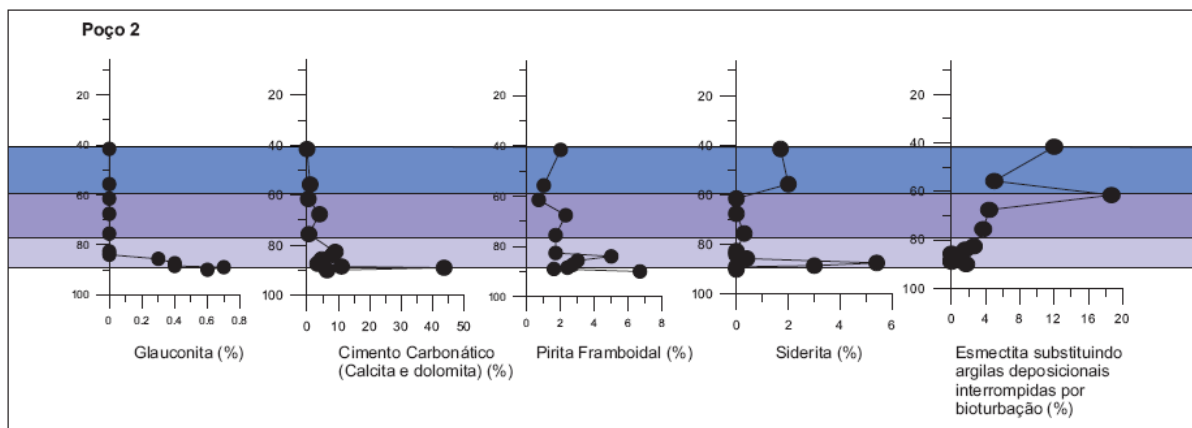


Figura 4 – Divisão do arcabouço estratigráfico com base nos dados diagenéticos do poço 2

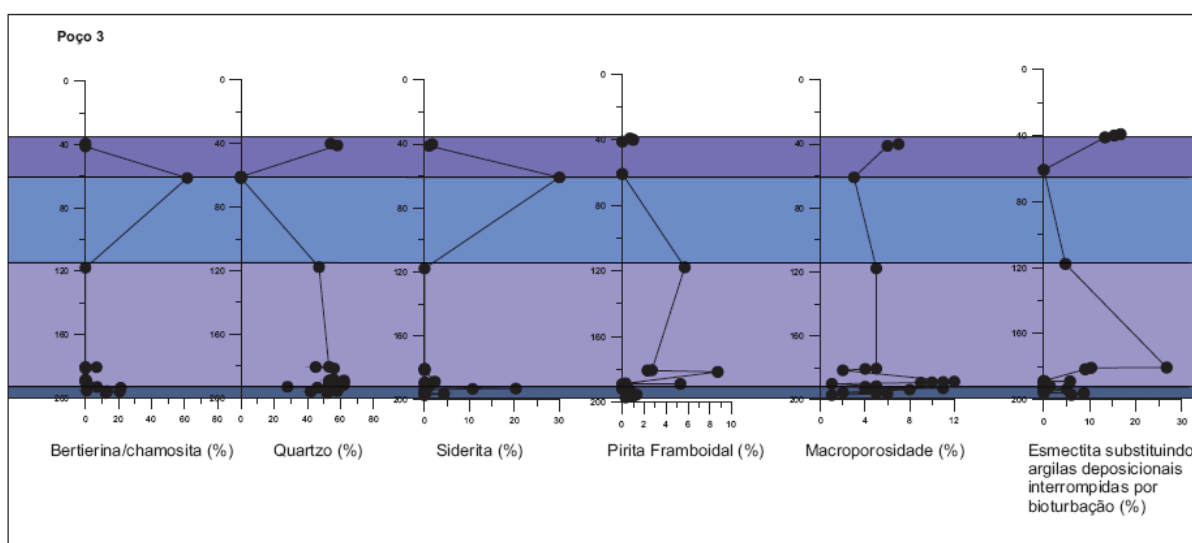


Figura 5 – Divisão do arcabouço estratigráfico com base nos dados diagenéticos do poço 3

3.2 – Integração dos dados diagenéticos com o arcabouço estratigráfico

Poço 1 – A presença de glauconita no poço 1 indica com clareza sua relação com o Trato de Sistema Transgressivo, corroborando com a hipótese de sua formação em ambiente marinho aberto associado a condições de afogamento. Isto pode ser indicado em função da glauconita ser tratada nesta pesquisa como um constituinte para-autóctone, e pelo fato de, provavelmente, ter sido as mesmas retrabalhadas de depósitos contemporâneos (figura 6). Sua abundância aumenta em direção à superfície de inundação máxima e diminui gradativamente após a mesma. Em conjunto, com a distribuição de cimento carbonático (calcita e dolomita) observa-se que o pico de glauconita em 40 m indica uma inundação nesta profundidade, como também identificado no registro sedimentar.

Poço 2 – A integração dos dados diagenéticos desse poço com o arcabouço estratigráfico pode indicar a presença de uma transgressão em escala de quarta ordem (figura 6). Todavia, entre os intervalos de 80 e 90 m, nota-se uma queda nos valores dos perfis de raio gama e de carbono orgânico total (COT). Analisando isoladamente esses perfis em relação ao perfil sedimentológico, não seria possível definir que as areias presentes neste intervalo foram depositadas em condições transgressivas (figura 6). Só foi possível essa identificação a partir do registro diagenético.

Poço 3 – Integrando os dados diagenéticos com o arcabouço estratigráfico proposto para o poço 3 (figura 6), observa-se uma congruência do LS/ST em torno de 60m, onde foi diagnosticado *ironstone*. Nota-se ainda que a unidade diagenética compreendida entre 40 e 60m (figura 5), correlacionou-se perfeitamente com o arcabouço estratigráfico sugerido pela descrição sedimentológica (figura 6), traduzindo-se numa seqüência transgressiva-regressiva de 4ª ordem.

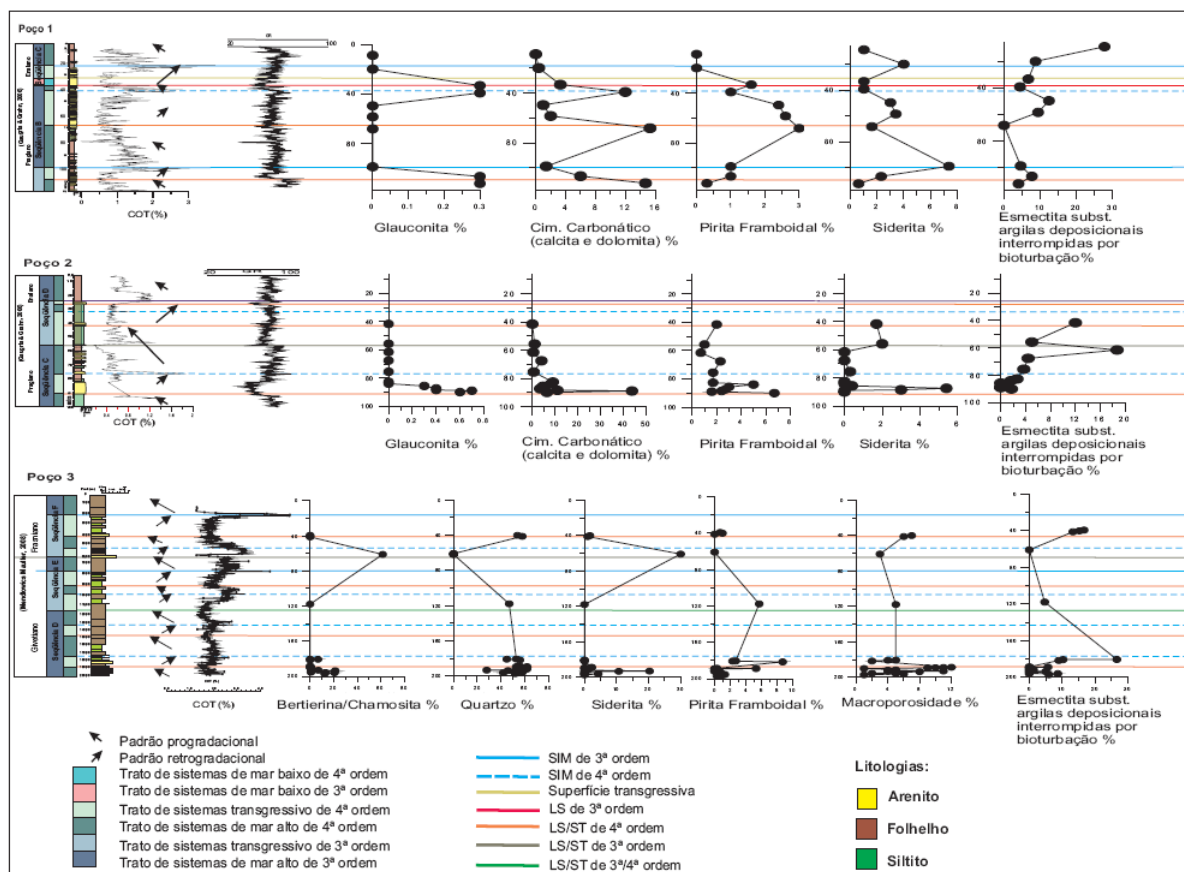


Figura 6 – Correlação dos constituintes eodiagenéticos com o arcabouço estratigráfico dos poços 1, 2 e 3

4 – Conclusões

Foram reconhecidos padrões diagenéticos de correlação em relação ao arcabouço estratigráfico. A partir desta análise foram propostas unidades diagenéticas como parâmetros de correlação com o arcabouço estratigráfico descrito. Ambientes associados ao TST teriam gerado uma assembléia mineral característica, formada especialmente por: siderita, pirita, glauconita, bertierina e cimentação carbonática (calcita e dolomita). Todos esses minerais apresentaram padrões de aumento percentual em direção às superfícies de inundação máxima identificadas nos poços.

Os constituintes eodiagenéticos correlacionaram-se satisfatoriamente com os perfis de raio gama e COT, sendo usados, também, como parâmetros para a determinação das superfícies-chave das seqüências deposicionais. Esta relação foi bem marcada, principalmente, pela glauconita para-*autóctone*, siderita, pirita framboidal e pela cimentação carbonática, especialmente na base do poço 2 e no topo do poço 1, onde estes minerais marcam inundações ocorridas nestes poços numa escala de deposição de 4ª ordem. No poço 3, o elevado percentual de bertierina/chamosita (referentes aos oóides de bertierina) na profundidade de 60m evidencia com clareza um limite de seqüência

A relação entre a estratigrafia de seqüências e a evolução diagenética de uma determinada área é uma nova abordagem de pesquisa na geologia do petróleo. Tal metodologia tem demonstrado ser uma poderosa ferramenta na predição das condições de deposição das rochas siliciclásticas, como foi observado para o Devoniano da Bacia do Paraná.

5 – Agradecimentos

Agradecemos ao Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello (CENPES – Petrobrás), em especial à geóloga Fátima Andréia de Freitas Brazil pela colaboração nas descrições petrográficas, ao prof. Dr. Sérgio Bergamaschi pela revisão do texto e à prof. Dra. Maria Suzana Pessoa de Souza pela revisão do abstract.

6 – Referências Bibliográficas

AMOROSI, A. 1997. Detecting compositional, spatial, and temporal attributes of glaucony: a tool for provenance research. *Sedimentary Geology*, **109**: 135-153.

GAUGRIS, K.A. & GRAHN, Y. 2006. New chitinozoan species from the Devonian of the Paraná Basin, south Brazil, and their biostratigraphic significance. *Ameghiniana*, Buenos Aires, v.43, n.2.

KETZER, J. M., MORAD, S. & AMOROSI, A., 2003. Predictive diagenetic clay-mineral distribution in siliciclastic rocks within a sequence stratigraphy framework. In: WORDEN, R.H. & MORAD, S. (eds.) *Clay Mineral Cements in Sandstones*. Int. Assoc. Sedimentol. Spec. Publ. 34, p. 43-61.

MENDLOWICS MAULLER, P. 2008. Bioestratigrafia do Devoniano da Bacia do Paraná - Brasil, com ênfase na Sub-bacia de Alto Garças. Tese de doutorado. Faculdade de Geologia – UERJ, Brasil.

MORAD, S., KETZER, J. M. & DE ROS, L. F., 2000. Spatial and temporal distribution of diagenetic alterations in siliciclastic rocks: implications for mass transfer in sedimentary basins. *Sedimentology*, 47, p. 95-120.

WORDEN, R.H. & MORAD, S. 2003. Clay minerals in sandstone: controls on formation, distribution and evolution. In: R.H. Worden & S. Morad (eds) *Clay Mineral Cements in Sandstones*. International Association of Sedimentologists Special Publication, 34, Editora Blackwell. pp. 3-41.

HLAL, O., MORAD, S., BRAZIL, F., PEREIRA, E., 2007. Diagenetic and reservoir-quality evolution of shoreface sandstones in sequence stratigraphic context: the Ponta Grossa Formation (Devonian) PARANÁ BASIN, BRAZIL. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 9, 03295, 2007. SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2007-A-03295.